

V. Géochimie des eaux souterraines

>>> Depuis les précipitations, jusqu'à ce qu'elle aboutisse la couche totalement saturée du sous-sol et tout au long de l'écoulement dans l'aquifère, l'eau subit des processus consécutifs qui changent sa composition chimique et influence d'une façon indirecte son degré de qualité.

>>> La composition chimique de l'eau souterraine reflète le milieu géologique dans lequel elle coule. C'est ainsi que certains éléments sont parfois présents dans les eaux souterraines à des concentrations particulièrement élevées.

>>> De ce fait, la composition chimique de la roche ou du sol influence suffisamment celle de l'eau qui les traverse. L'eau souterraine n'est donc jamais pure au sens strict, elle peut réagir avec certains minéraux notamment par **dissolution**, **hydratation**, **hydrolyse** ou **oxydation**. L'action de l'eau est fonction de certains paramètres physico-chimiques tels que la température, le pH, le potentiel ionique, le potentiel d'oxydation... etc.

1. Structure de l'eau

>>> Une particule d'eau (H_2O) est une molécule polaire, où la répartition électronique des charges est hétérogène (-0,82 sur l'atome d'oxygène et +0,41 sur chaque atome d'hydrogène). Elle est caractérisée aussi par un angle entre les liaisons égale presque $104,5^\circ$ (figure V.01).

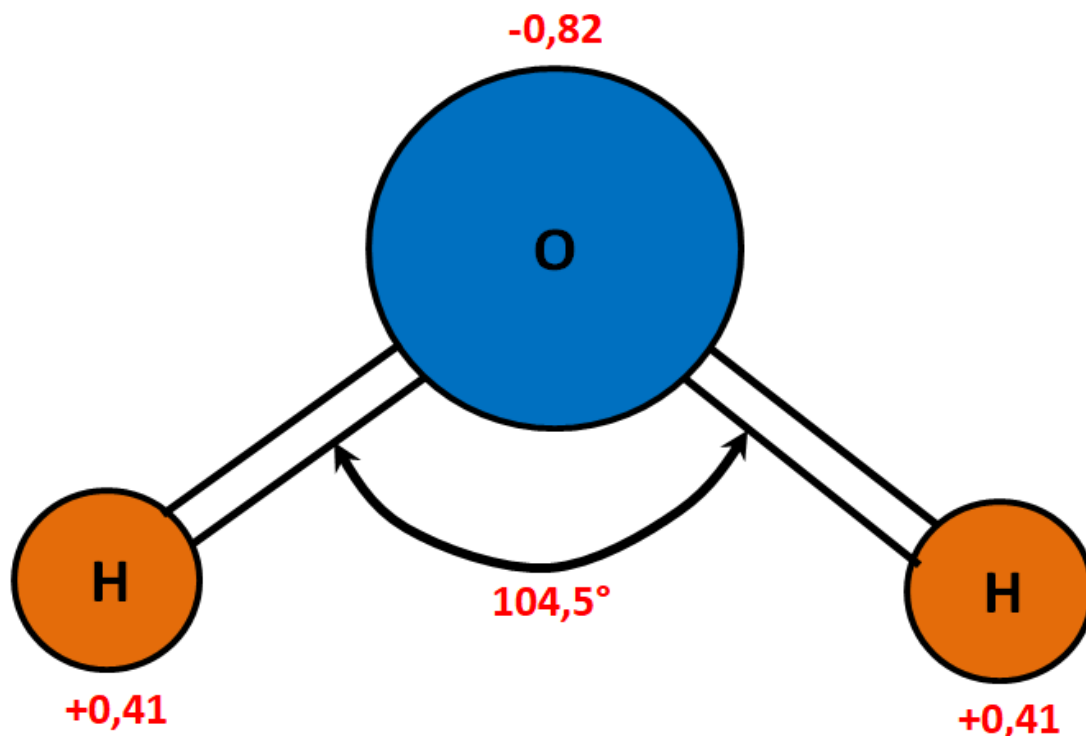


Fig. V.01 – Molécule d'eau.

Qu'est-ce que une molécule ?

>>> C'est une entité stable caractérisée par un nombre limité d'atomes (noyau qui contient des protons et des neutrons) assemblés entre eux par des liaisons chimiques.

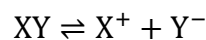
2. Solubilité des minéraux dans l'eau :

>>> En réalité l'eau qui se trouve sur le globe terrestre est rarement un composé chimique pur, l'eau courante étant une solution d'eau, de sels minéraux et d'autres impuretés.

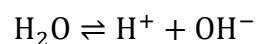
>>> La dissolution c'est un phénomène par lequel un minéral se dissout dans l'eau et disparaît ; cette action donne des ions ou des colloïdes dans l'eau. L'eau est le solvant universel capable de dissoudre certaines substances.

>>> La capacité de dissolution d'une substance dans un liquide est liée à leurs propriétés physico-chimiques communes ; L'eau possède un pôle chargé positivement et un autre négativement, les sels minéraux qui sont constitués d'ions négatifs et d'ions positifs seront donc très solubles dans l'eau. L'eau présente un exceptionnel pouvoir de dissolution des sels minéraux.

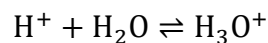
>>> Un composé minéral dissous dans l'eau se dissocie avec apparition d'ions chargés négativement (anions) et positivement (cations) :



>>> L'eau elle-même est partiellement dissociée en ions suivant la réaction réversible :

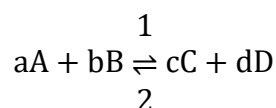


>>> Le proton H^+ n'existe pas à l'état libre en solution aqueuse. Chaque ion hydrogène se combine avec une molécule d'eau pour former l'ion hydroxonium H_3O^+ , proton hydraté.



>>> Ainsi, dans l'eau, on trouve à la fois des molécules H_2O , des ions hydroxydes OH^- et hydroxonium H_3O^+ .

>>> Une réaction chimique à l'équilibre peut s'écrire de la manière suivante :



Avec :

A, B, C et D sont des formes chimiques ;

[A], [B], [C] et [D] sont les concentrations molaires ;

a, b, c et d sont les coefficients stœchiométriques.

>>> Les vitesses de réaction chimique dans les deux sens 1 et 2 sont données par les relations suivantes :

$$V_1 = K_1 * [A]^a * [B]^b$$

$$V_2 = K_2 * [C]^c * [D]^d$$

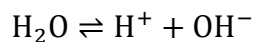
>>> À l'équilibre $V_1 = V_2$, d'où :

$$K_1 * [A]^a * [B]^b = K_2 * [C]^c * [D]^d$$

$$\frac{[A]^a * [B]^b}{[C]^c * [D]^d} = \frac{K_2}{K_1} = K$$

>>> C'est la loi d'action de masse, elle est associée aux différentes mises en solution possibles, permet de connaître les concentrations molaires [A], [B], [C] et [D].

Exemple pour l'eau :



On a alors :

$$K = \frac{[H^+] * [OH^-]}{[H_2O]}$$

La dissociation étant toujours faible, la concentration des molécules d'eau est pratiquement constante, donc on peut écrire :

$$K_{eq} = [H^+] * [OH^-]$$

Où : K_{eq} est une constante de dissociation ou produit ionique.

Dans l'eau pure à 25°C :

$$K_{eq} = 10^{-14} \text{ [mol/l]}^2$$

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

>>> À partir de la concentration molaire en ions H^+ on peut définir le pH comme suit :

$$pH = \log([H^+]^{-1}) = -\log([H^+])$$

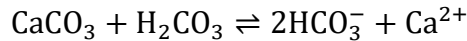
$$pOH = \log([OH^-]^{-1}) = -\log([OH^-])$$

$$pH + pOH = pK_e = 14$$

>>> Donc pour l'eau pure à 25 °C, $pH = pOH = 7$.

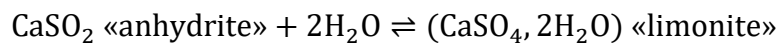
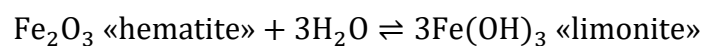
NB : On appelle milieu acide une solution dans lequel $pH < 7$, milieu basique $pH > 7$.

>>> La dissolution est limitée par un très grand nombre de minéraux et par ordre décroissant on a le NaCl «halite», CaCO_3 «calcite», $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ «dolomite», $(\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O})$ «gypse». L'eau restée longtemps au contact avec l'atmosphère s'enrichit en CO_2 et devient légèrement acide (H_2CO_3). Ainsi son action sur la calcite :



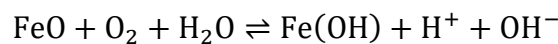
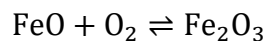
3. Hydratation :

>>> L'hydratation c'est l'adjonction d'une molécule d'eau à un minéral. Ce phénomène a pour conséquence d'augmenter le volume du minéral. Ce qui a pour conséquence d'altérer les minéraux.



4. Oxydation :

>>> C'est le phénomène par lequel les eaux d'infiltration entraînent l'oxygène dans le sous-sol où il va oxyder les sulfures métalliques et les silicates par l'intermédiaire des bactéries aérobies. Elle agit principalement sur les oxydes de fer (FeO). Ainsi, l'oxydation du fer ferreux donne le fer ferrique qui précipite sous forme d'oxyde ou d'hydroxyde.



5. Notions de concentrations des éléments chimiques dans l'eau:

>>> La concentration molaire d'un soluté (M) est le nombre de moles de soluté par volume d'eau [mol/l] ; c'est-à-dire 1 molécule-gramme [M] = 1 [mol/L].

>>> Dans le cas d'une solution dite «M», il indique qu'un litre de cette solution contient 1 mol ou molécule-gramme de soluté.

>>> La masse molaire s'exprime en nombre de gramme par 1 mole [g/mol], alors que la concentration massique représente le nombre de gramme par 1 l, elle s'exprime soit en [mg/l] ou [µg/l] voire en [ng/l].

Exemple :

$[\text{H}_2\text{O}] = 40 \text{ M} \rightsquigarrow$ soit 1000 [g/l] par 25 [g/mol] ;

Le produit ionique d'une eau pure : $[\text{H}^+] * [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{M}^2$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}^+] * [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = \frac{10^{-14}}{40} = 2,5 * 10^{-16} \text{M}$$

❖ Eau pure $\rightsquigarrow [H^+] = [OH^-] = 10^{-7} M$

Si $[H^+] > [OH^-] \rightsquigarrow$ solution acide ;

Si $[H^+] < [OH^-] \rightsquigarrow$ solution basique.

>>> Nous pouvons également rapporter la masse de soluté à une masse d'eau et nous avons ainsi des parties par million (ppm = mg/kg d'eau), des parties par billion (ppb = µg/kg d'eau) et des parties par trillion (ppt = ng/kg d'eau).

Système d'unité	Abréviation	Valeur
Partie par million	[ppm]	$1 * 10^{-6}$
Partie par billion	[ppb]	$1 * 10^{-9}$
Partie par trillion	[ppt]	$1 * 10^{-12}$

$$\text{Nombre de moles} = \frac{\text{Masse de X}}{\text{Masse molaire de X}}$$

$$n [\text{mol}] = \frac{m [\text{g}]}{M [\text{g/mol}]}$$

$$\text{Concentration molaire} = \frac{\text{Nbr de moles de X}}{\text{Volume}}$$

$$C [\text{mol/l}] = \frac{n [\text{mol}]}{V [\text{l}]}$$

>>> Dans certains cas, il est utile d'utiliser les milliéquivalents ; la concentration des éléments exprimée en milliéquivalent [meq] est définie par : $1 [\text{meq}] = C/P/Z$

Avec : C : est la concentration des éléments en [mg/l], P : est la masse atomique de l'élément (voir annexe) et Z : représente la valence (tableau V.01).

>>> Par exemple pour le potassium (K), $P = 39,0983$ et $Z = 1$.

Tab. V.01 – Répartition des valences de différents éléments chimique.

Nature de l'élément	Valence	Symbole chimique
Monovalent ou univalent	1	H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Cu, Ag, Au, F, Cl, Br, I
Divalent ou bivalent	2	Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Pt, Hg, <u>Sn</u> , Pb, O, Se, Te, C
Trivalent	3	B, Al, Au, Fe, Co, Ni, Cr, Mn, Cl, Br, I, Ga, In, Tl, <u>N</u> , P, As, Sb, Bi, Po
Tétravalent	4	C, Si, Ge, Sn, Pb, S, Se, Te, Pt, Ir, Mn
Pentavalent	5	Bi, Sb, As, I, Br, Cl, P
Hexa-valent	6	Te, Se, S, Mn, Cr
Heptavalent	7	Mn, Cl, Br, I

